

*Процес намотування є одним з основних процесів текстильної промисловості. Якістю формованих пакувань значною мірою визначається якість кінцевої продукції текстильної промисловості, а також продуктивність праці і устаткування. Тому увага до аналізу процесу формування пакувань, створення нових перспективних способів і конструкцій механізмів намотування не слабшає вже багато десятиліть. Розглядаються питання, пов'язані з аналізом методів контролю якості структури пакувань хрестового намотування, які використовуються в прядильному виробництві. Під структурою намотування в даній роботі будемо розуміти взаємне розташування ниток при їх укладанні на поверхню пакування. Таким чином, параметрами структури будуть такі величини, як кут підйому витка, відстань між точками розвороту витків, крок витків і т. ін.*

*Відомо, що взаємне розташування витків на тілі намотування при фрикційній приводі пакувань не є однорідним. При певних співвідношеннях між частотою обертання бобіни і частотою руху нитководія відбувається укладання ниток на один і той же місце. При цьому спостерігаються, так звані, джгутові утворення. У разі, якщо частоти руху бобіни і нитководія незначно відрізняються від кратних, витки укладаються щільно один до одного, в цьому випадку формується стрічкова намотування. Джгутова намотування супроводжується рядом явищ, які негативно позначаються на якості формованих пакувань. При цьому параметри зсуву і зміщення визначаються на підставі емпіричних даних. Для обґрунтованого підходу до вибору технологічних параметрів таких механізмів проведено теоретичний аналіз процесу формування джгутових структур з точки зору силових взаємодій ниток. Для проведення такого вибору необхідно мати інструментальну методіку кількісної оцінки параметрів структури намотування, тому детально розглянуті методи їх реєстрації*

*Ключові слова: дефекти намотування, дефекти структури, стрічкова намотування, джгутова намотування, зрушення витків, точка розвороту витка*

УДК 677 – 487.5.23

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.143825

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ПАКОВОК КРЕСТОВОЙ НАМОТКИ

**М. Н. Нуриев**Доктор технических наук,  
профессор\*

E-mail: mehman62@mail.ru

**И. М. Сейдалиев**

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: ilham.seydaliyev@mail.ru

\*Кафедра стандартизации  
и сертификацииАзербайджанский  
государственный экономический  
университет (UNEC)ул. Истигалият, 6, г. Баку,  
Азербайджан, AZ1001

## 1. Введение

Актуальность дальнейшего развития вопросов формирования паковок крестовой мотки для машин прядильного производства вытекает из повышения требований к качеству паковок. Особенно для паковок, формируемых на машинах, реализующих новые способы прядения – роторных и пневмомеханических, а также прядильно-крутильных и крутильных безколыцевых машинах.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Под структурой намотки в настоящей работе подразумевается взаимное расположение нитей.

Параметрами структуры намотки в этом случае будут выступать следующие величины:

– угол подъема витка нити  $\beta$ ;

– центральный угол  $\phi$  между точками разворота витков;  
– расстояние между витками нити  $\Delta$  в направлении перпендикулярном витку;  
– расстояние между витками нити  $\Delta_0$  в окружном направлении.

В [1, 2] приводятся удобные критерии, которые позволяют классифицировать структуру намотки нитей на бобину.

Так, жгутовой называется такая намотка, при которой расстояние между витками нити меньше ее диаметра  $d_n$ , то есть:

$$\Delta \leq d_n. \quad (1)$$

Ленточной же называется такая намотка, при которой расстояние между витками нити меньше трех диаметров нити,

$$\Delta \leq 3d_n. \quad (2)$$

Для общности рассуждений будем считать, что дефектные структуры намотки образуются тогда, когда:

$$\Delta = kd_n, \quad (3)$$

где  $k$  – число от 0 до 3, характеризующее строгость требований, предъявляемых к структуре намотки. При  $0 < k < 1$  будет наблюдаться жгутовая намотка, а при  $1 < k < 3$  ленточная.

Рассмотрим процесс образования дефектов структуры намотки. На рис. 1 показана развертка поверхности бобины. Виток на поверхность бобины укладывается в виде периодической кривой, длину волны которой обозначим  $L$ .

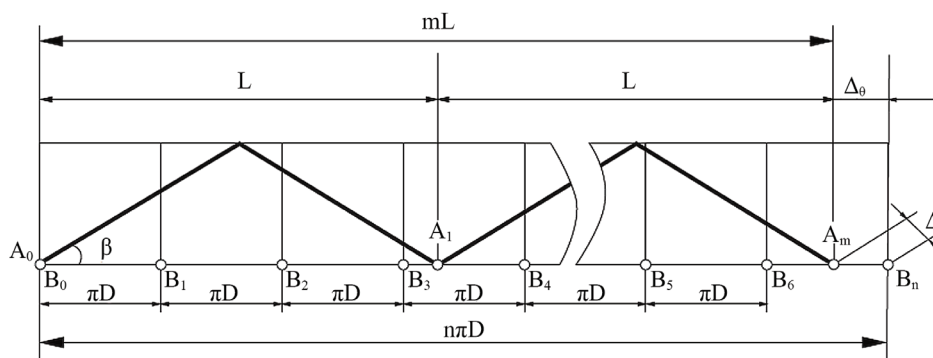


Рис. 1. Схема образования намотки

За начало отсчета длины окружности паковки примем точку разворота витка на одном из торцов. Если окажется, что какая-либо из точек разворота витка  $A_1, A_2, \dots, A_n$  точно совпадает с одной из точек  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , отстоящих на расстояние, кратное длине окружности бобины, то это будет означать, что виток уложен на то же самое место и происходит формирование жгутовой намотки. Это будет происходить в любом случае, если:

$$mL = \pi Dn, \quad (4)$$

где  $m$  и  $n$  – целые числа.

Если условие (4) не соблюдается, то расстояние  $\Delta_\theta$  между витками, как это следует из рис. 1, можно рассчитать по формуле:

$$mL - \pi Dn = \Delta_\theta. \quad (5)$$

Число  $m$ , равное количеству двойных ходов, через которое виток будет уложен на прежнее место, назовем циклом раскладки. Поскольку при определении дефекта структуры фигурирует величина  $\Delta_\theta$  можно записать:

$$(mL - \pi Dn) \sin \beta = \Delta_\theta, \quad (6)$$

$$|(mL - \pi Dn) \sin \beta| \leq kd_n. \quad (7)$$

Выражение (4) можно переписать в виде:

$$\frac{L}{\pi D} = \frac{m}{n}. \quad (8)$$

Тогда, разделив числитель и знаменатель левой части уравнения на окружную скорость поверхности бобины, получаем:

$$\frac{T_p}{T_b} = \frac{n}{m}, \quad (9)$$

где  $T_b$  и  $T_p$  – периоды движения бобины и раскладчика.

Учитывая, что  $T = 1/f$ , где  $f$  – частота, (9) можно переписать в виде:

$$\frac{f_b}{f_p} = \frac{n}{m}. \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет рассматривать процесс жгутообразования как процесс интерференции, т. е. сложения двух волновых процессов, одного с длиной волны  $L$ , а другого с длиной волны  $\pi D$ . По данным картинам

можно заметить, что числа  $m$  и  $n$  имеют определенный физический смысл. Если через бобину провести секущую плоскость, перпендикулярную к ее оси, то число пар пересечений этой плоскости с линией витка равно  $m$ . На развертке поверхности бобины эта плоскость изображена в виде прямой линии  $a-a$ . Число  $n$  равно количеству точек пересечения с образующей бобины за полный цикл раскладки.

Цилиндрические паковки крестовой мотки, нарабатываемые на пряжильных машинах типа ППМ-120, ПР-150, ПК-100 и ПСК-225ШГ, используются в ткацком или трикотажном производствах. В зависимости от назначения пряжи паковки могут поступать в качестве утка или основы в ткацкое производство после предварительной перемотки или непосредственно с названных выше машин. Самокруточная пряжа с машины ПСК-225ШГ подвергается дополнительному кручению на крутильных машинах двойного кручения. На необходимость предварительной перемотки паковки перед использованием влияет масса нити на паковке. Так, сновка с бобин ПК-100 не нашла применения, несмотря на имевшие место попытки.

Качество намотки паковок существенным образом влияет на обрывность нити на указанных переходах текстильного производства.

Рассмотрим это на конкретных примерах. В Сумгаитском текстильном парке (Азербайджан) для производства миткаля в качестве основы используется пряжа 20 текс, вырабатываемая на машинах ППМ-120. Результаты наблюдения за обрывностью этой пряжи на сновальных машинах приведены в табл. 1. Как следует из ее анализа, причины обрыва, связанные с дефектами намотки, составляют 22 % от общего количества обрывов.

С целью определения причин обрывов, которые в технологической практике классифицируются как обрывы из-за нарушения формы бобины и слеты витков, были проведены дополнительные наблюдения за обрывностью на сновальных машинах. При этом осуществлялся контроль диаметра намотки, на котором происходил обрыв. Контроль производился при наработке 8 валиков по 330 нитей. Усредненные результаты для двух валиков, что соответствует переработке полной бобины, приведены на рис. 2. Здесь штриховкой обозначены обрывы, связанные

с дефектами намотки. Результаты измерения обрывности (рис. 2) сравнивали с диаграммой структуры намотки для машины ППМ-120 [3, 4], которая количественно отображает распределение дефектов структуры намотки по радиусу наматывания. Сравнение показало, что область наибольшей обрывности, находящаяся между диаметрами намотки 140–200 мм, совпадает с наибольшим количеством дефектов намотки в виде жгутов и ленты.

Таблица 1

Результаты наблюдения обрывности на сновальных машинах. Миткаль основа 20 текс 330 нитей

№	Обрывов на валик	Обрывов из-за неправильной формы бобины		Слеты витков		Всего из-за дефектов намотки	
		кол.	%%	кол.	%%	кол.	%%
1	37	6	16		–	6	16
2	35	8	23	–	–	8	23
3	30	6	20	4	13	10	33
4	29	5	17	6	20	11	37
5	25	4	14	–	–	4	16
6	28	2	7	–	–	2	7
7	29	5	17	–	–	5	17
8	31	6	19	2	6	8	25
9	30	7	23	4	13	11	36
10	37	6	16	6	16	12	32
11	40	8	20	6	15	14	35
12	36	6	16	4	11	10	27
13	40	6	15	–	–	6	15
14	43	3	7	2	5	5	12
15	36	2	5	–	–	2	5
16	30	6	20	–	–	6	20
Сред	33,5	5,4	16	2	6	7,4	22

На рис. 2 также наблюдаются всплески обрывности на диаметрах 80–110 мм и 210–230 мм, что, как показывает диаграмма [3], также соответствует жгутовым диаметрам.

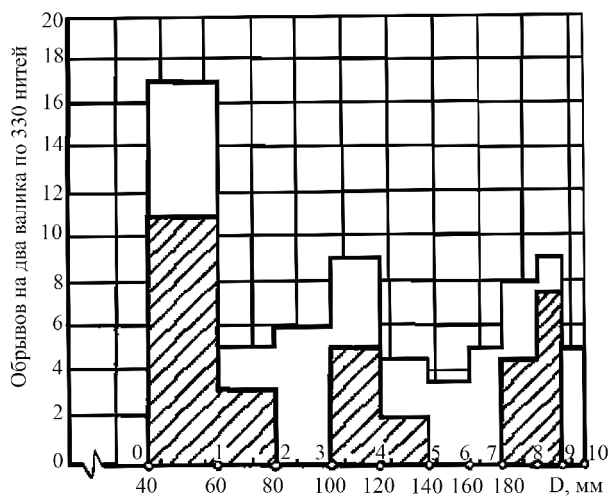


Рис. 2. Зависимость обрывности при сматывании цилиндрических бобин, намотанных на машине ППМ-120, от диаметра наматывания

Это позволяет сделать вывод о том, что нарушения формы намотки и слеты витков сопутствуют жгутообразованию и, возможно, являются его следствием.

Для проверки этого положения были проведены наблюдения за обрывностью на мотальных машинах при перематывании бобин, наработанных на прядильно-крутильной машине ПК-100МЗ. Согласно им обрывность нити, связанная с дефектами намотки, составляет в среднем 58 %. При этом основным дефектом намотки на машинах ПК-100МЗ являются слеты витков, как правило, сопутствующие жгутовой намотке.

На рис. 3, 4 приведены фотографии торцов паковок с машин ПК-100МЗ и ПСК-225ШГ. На них четко просматриваются дефекты в виде слетов витков и видно, что они образуют на торцевой поверхности паковки валик из нитей, уложенных в жгут (показано стрелками).

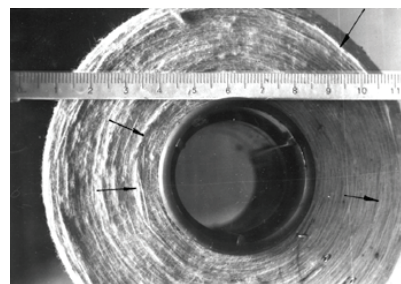


Рис. 3. Торцы паковки, намотанной на машине ПК-100МЗ

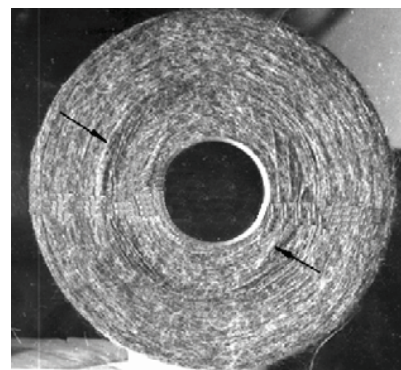


Рис. 4. Торцы паковки, намотанной на машине ПСК-225ШГ

Эффективность мероприятий, направленных на устранение дефектов намотки, зависит от трудоемкости ликвидации обрывов на тех переходах, где используются паковки, формируемые в прядильном производстве. Наименьший эффект будет, в этом случае, при перематке паковок, а наибольший — в процессе докручивания пряжи на машинах двойного кручения, в сновании и на ткацких станках, где пряжа используется в качестве утка.

Рассмотрим расчетные методы оценки параметров структуры намотки. Параметры структуры намотки зависят от конструкции мотального механизма и влияют на многие технологические свойства паковки и ее способность к переработке.

В случае стационарного движения системы «мотальный вал – бобина» кинематические соотношения между числом ходов нитеводителя и числом оборотов бобины, при которых расстояние  $\Delta = 0$ , сформулированы в работах [5, 6]. В [1] приведены результаты моделирования процесса сматывания пряжи с паковки и влияния дефектов намотки на ее качество.

В [7] для оценки структуры намотки используется расстояние  $\Delta_0$  в окружном направлении между последующими витками. Его определяет расчетным путем в условиях нестационарного движения системы «мотальный вал – бобина» только при передаточном отношении между бобиной и мотальным валом  $i \approx 1$ . Таким методом, безусловно, нельзя оценить структуру намотки всей паковки.

Во многих случаях эти параметры определяются кинематическими соотношениями в мотальном механизме, поэтому для их анализа применяются расчетные методы. Приведенная методика предназначена для расчета углового и линейного расстояния между витками нити по кинематической схеме мотального механизма в зависимости от диаметра намотки паковки. Линейным расстоянием между соседними витками определяется такой брак, как жгутовая намотка, когда соседние витки укладываются друг на друга.

Как недостаток изложенной методики следует отметить отсутствие ориентации на применение вычислительной техники, что делает невозможным проверку образования жгутовой намотки на всех диаметрах.

В [6, 8] излагаются методики анализа структуры намотки с помощью ЭВМ. В [6] для анализа наличия жгутовой намотки предложены два критерия: степень фиксации витка и неравномерность распределения точек разворота витков по окружности бобины. Первый критерий определяется как расстояние  $e$  вдоль образующей бобины между точкой  $K$  пересечения двух соседних витков и крайним положением нитеводителя  $U$  (рис. 5), которое можно найти из уравнения:

$$\frac{dW}{W} = \frac{e}{H}, \quad (11)$$

где  $H$  – ход нитеводителя;  $W = \omega/f$  – отношение угловой частоты вращения бобины к частоте движения нитеводителя (намоточное отношение),  $dW$  – относительное изменение намоточного отношения.

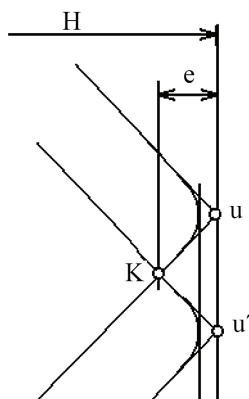


Рис. 5. Схема расположения витков нити на поверхности бобины

Если это расстояние меньше заданной величины, то виток считается плохо закрепленным и возможно нарушение закона укладки витков, заданного нитеводителем. В приведенном в статье [6] примере допустимое расстояние  $e = 2$  мм.

Второй критерий – неравномерность распределения точек разворота по наружной поверхности бобины, определяется следующим образом. Бобина делится на 5 секторов. После этого рассчитывается, сколько точек разво-

рота лежит в каждом секторе на определенном диаметре бобины. Численной характеристикой неравномерности распределения точек разворота является величина:

$$S = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\text{ср}}}, \quad (12)$$

где  $n_{\max}$  и  $n_{\min}$  – максимальное и минимальное количество разворотов витков в секторе;  $n_{\text{ср}}$  – среднее число разворотов в секторе.

В [6] приведены графики зависимости этих величин от порядка жгута, то есть фактически от диаметра намотки, для различных законов возмущения движения нитеводителя, которые применяются для рассеивания дефектов намотки. С помощью изложенной методики анализируется эффективность различных способов рассеивания дефектов структуры. Анализ одного из способов рассеивания приведен в [9].

Для оценки вредного воздействия жгутовой намотки необходим метод анализа структуры намотки, позволяющий определить, на каких диаметрах возможно жгутообразование, какова интенсивность этих образований, или какую толщину они будут иметь. Кроме того, желательно, чтобы такой метод позволял сравнивать структуры намотки, полученные с помощью разных мотальных механизмов или на одном и том же мотальном механизме при различных режимах его работы.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка методов контроля качества структуры паковок крестовой намотки, обеспечивающих качественную намотку на машинах прядильного производства. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- уточнить причины образования дефектов структуры намотки в виде жгутовой и ленточной намоток;
- экспериментально исследовать влияние дефектов структуры намотки на пригодность паковок к переработке на последующих переходах;
- сформулировать обобщенный критерий для расчетного определения вида намотки;
- исследовать два варианта формирования структуры – без рассеивания и с рассеиванием жгутовых структур.

### 4. Процедура разработки методов контроля качества структуры паковок крестовой намотки

#### 4.1. Причины образования дефектов структуры намотки в виде жгутовой и ленточной намоток

Для решения поставленной задачи разрешим неравенство (7) относительно параметра  $D$ :

$$\frac{m}{\pi n} L - \frac{kd_n}{\pi n \sin \beta} \leq D \leq \frac{m}{\pi n} L + \frac{kd_n}{\pi n \sin \beta}. \quad (13)$$

Если при решении (13) потребовать точного совпадения положения последующего и предыдущего витков, т. е.  $k = 0$ , получим значения жгутовых диаметров:

$$D = \frac{m}{\pi n} L. \quad (14)$$



Вычитая из правой части выражения (13) его левую часть, получаем диапазон диаметров, в котором неравенства соблюдаются:

$$\Delta D = \frac{2kd_n}{\pi n \sin \beta}. \quad (15)$$

Согласно (8), дефекты структуры возникают тогда, когда отношение длины волны раскладки  $L$  к длине окружности бобины  $\pi D$  является несократимой дробью.

При постоянном угле подъема витка  $\beta$  это отношение зависит только от диаметра намотки  $D$ . В координатной системе « $L-\pi D$ » каждому отношению  $L/\pi D$  будет соответствовать луч, проходящий через начало координат (рис. 6).

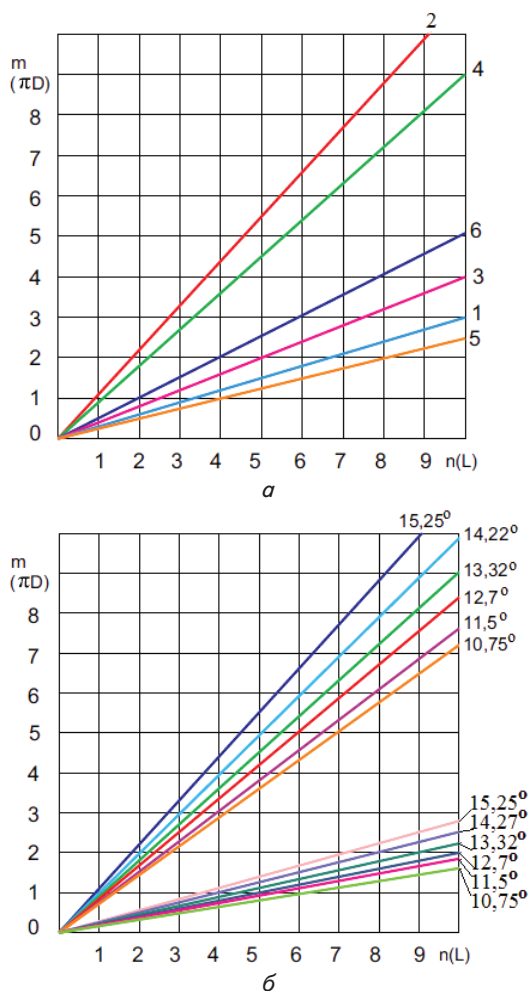


Рис. 6. Диаграмма « $L-\pi D$ »:  
а, 1 и 2 — начало и конец наматывания для машин ПСК-225ШГ и ПР-150, 3 и 2 — начало и конец наматывания для машины ММ-150-2, 4 и 5 — начало и конец наматывания для машины ММ-150-Л2;  
б — для машины ПК-100 при разных углах подъема витка

Количество дефектов структуры можно определить по числу несократимых комбинаций  $m/n$ , заключенных внутри угла между лучами  $L/\pi D_{\min}$  и  $L/\pi D_{\max}$ . На рис. 6, а линия 1 иллюстрирует формирование намотки с помощью прорезного барабанчика диаметром 90 мм (2 витка) на диаметре намотки 56 мм. Линия 2 дает то же, но на диаметре намотки 200 мм, что соответствует намотке на

машинах ПСК-225ШГ и ПР-200Ш. Все несократимые комбинации  $m/n$ , заключенные между прямыми 1 и 2, соответствуют дефектам структуры намотки.

По диаграмме можно также оценить интенсивность дефекта. Для этого обратимся к выражению (13), из которого следует, что интенсивность снижается пропорционально числу  $n$ . Таким образом, из рис. 6 видно, что наиболее мощный жгут  $m/n=1$  при указанных условиях формируется на диаметре, близком к максимальному диаметру паковки. Толщина образований, возникающих при  $n=2$  и  $n=3$ , т. е.  $m/n=1/2$ ,  $m/n=1/3$  и  $m/n=2/3$  соответственно в 2 и 3 раза меньше. Дефекты, формируемые при больших значениях  $n$ , имеют меньшую толщину. Наблюдениями установлено, что дефекты, формируемые при  $n>6$ , не влияют на качество намотки, а при  $n>10$  не обнаруживаются визуально.

Поскольку диаграмму « $L-\pi D$ » можно строить в безразмерных величинах  $m-n$ , по ней можно сравнивать структуру намотки паковок, сформированных на разных машинах или на одной машине при разной наладке мотального механизма. На рис. 6 линией 3 показана намотка на прорезном барабанчике диаметром 90 мм (2,5 витка) на патрон диаметром 90 мм, что соответствует намотке на машине ММ-150-2. Конечный диаметр намотки на этой машине равен 200 мм. Ему соответствует линия 4. Из (рис. 6) видно, что увеличение диаметра патрона позволило исключить дефект, формируемый при  $m/n=1/3$ , а также еще семь менее значимых. При уменьшении толщины слоя намотки уменьшается количество дефектов, например, на машине ММ-150-Л2 (линии 5 и 6 на рис. 6, а).

На рис. 6, б приведены диаграммы для машины ПК-100МЗ при различных значениях угла подъема витка. Диаграмма показывает, что выбором угла подъема витка  $\beta$  можно несколько улучшить структуру намотки. Так, при намотке с углом  $\beta=14,22^\circ$  отсутствует самый мощный дефект при  $m/n=1/1$ , но появляются дефекты при  $m/n=1/4$  и  $m/n=1/5$ . Таким образом, структура намотки при  $\beta=14,22^\circ$  более благоприятна для последующей переработки, чем при  $\beta=15,25^\circ$ .

#### 4. 2. Влияние дефектов структуры намотки на пригодность паковок к переработке на последующих переходах

В [4] показана связь слетов витков на торец паковки с дефектами структуры намотки. В [10] отмечается экспериментально установленный факт, появление слетов на торцах, которые можно частично ликвидировать подбором угла скрещивания витков. Это согласуется с полученным результатом, однако в [10] отсутствует теоретическое объяснение этого явления.

Оценим диапазон диаметров  $\Delta D$ , внутри которого формируется дефектная намотка, например, для машины ПК-100МЗ. При этом будем считать, что  $n=1$ , а  $k=3$ . Необходимый для этого расчетный диаметр нити можно получить, воспользовавшись известной формулой:

$$d_n = 0,00357 \sqrt{T/\delta}, \quad (16)$$

где  $T$  — линейная плотность нити, текс;  $\delta$  — объемный вес текстильного материала (для х/б пряжи).

Результаты расчета сведены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что с увеличением толщины наматываемой нити и уменьшением угла подъема витка, толщина жгутовых

образований увеличивается. Этим, по-видимому, объясняется уменьшение слетов нити, сопутствующих жгутообразованию при увеличении угла подъема витка, которое установлено на практике при эксплуатации машины ПК-100-МЗ.

Таблица 2

Толщина жгутовой намотки в мм для машины ПК-100-МЗ

$T, (d, \text{мм}) \backslash 2\beta^\circ$	$21^\circ 15'$	$23^\circ$	$24^\circ 21'$	$26^\circ 38'$	$28^\circ 27'$	$30^\circ 31'$
$7,4 \times 2 (0,15)$	1,55	1,43	1,36	1,24	1,16	1,09
$10 \times 2 (0,17)$	1,76	1,63	1,54	1,41	1,32	1,23
$11,5 \times 2 (0,19)$	1,97	1,82	1,72	1,58	1,47	1,38
$18,5 \times 2 (0,24)$	2,49	2,30	2,17	1,99	1,86	1,74
$25 \times 2 (0,27)$	2,80	2,59	2,44	2,24	2,09	1,96
$29 \times 2 (0,29)$	3,01	2,78	2,62	2,41	2,25	2,10

Отмеченная тенденция противоположна наблюдавшейся ранее в отношении количества дефектов структуры, т. е. с увеличением угла подъема витка количество дефектов возрастает, но их толщина при этом уменьшается. И, как видно из табл. 2, это уменьшение в пределах диапазона регулирования, допускаемого конструкцией машины, довольно существенно.

Значения толщины жгутовой намотки, приведенные в табл. 2, соответствуют  $n=1$ , т. е. самому мощному образованию. При других значениях  $n$  толщина пропорционально уменьшается и при  $n=10$  станет приблизительно равной толщине нити, т. е. не будет иметь существенного влияния на процесс наматывания.

Все сказанное относится к фрикционному наматыванию при отсутствии рассеивающих механизмов. Механизмы рассеивания вносят возмущения в движение нитеводителя или бобины, за счет чего нарушается описанный процесс формирования жгутовых структур и улучшается качество намотки в целом. Однако анализировать структуру намотки при наличии механизма рассеивания жгутовой намотки с помощью описанного метода не представляется возможным. Для этого необходим метод, учитывающий расположение точек разворота витков на торце паковки и реальное изменение толщины намотки во времени.

#### 4. 3. Обобщенный критерий для расчетного определения вида намотки

Как показано выше, для описания структуры намотки, в общем случае, при наличии механизмов рассеивания в качестве критерия удобнее принимать расстояние между витками. В этом случае, для оценки толщины дефекта намотки необходимо иметь реальную зависимость, характеризующую рост диаметра наматывания от числа двойных ходов нитеводителя. Использование времени в качестве аргумента [11, 12] в этом случае не целесообразно. Гораздо удобнее использовать для этой цели количество двойных ходов нитеводителя [4, 13].

#### 4. 4. Анализ структуры намотки при наличии рассеивающих устройств

Пусть бобина повернется на некоторый элементарный угол  $d\varphi$ , тогда на нее наматывается нить массой:

$$dm = \frac{TDd\varphi}{2000 \cos \beta}, \quad (17)$$

где  $T$  – линейная плотность наматываемой нити, текс;  $D$  – текущий диаметр тела намотки, м;  $\beta$  – средний за цикл работы механизма рассеивания угол подъема витка.

При этом будем считать, что эта масса нити размещается в цилиндрическом слое толщиной  $dD/2$  на поверхности паковки, тогда:

$$dm = \frac{\pi \gamma(D) H D dD}{2}, \quad (18)$$

где  $\gamma$  – плотность намотки, г/м<sup>3</sup>;  $H$  – ширина паковки, м.

Приравняв правые части (17) и (18), получим уравнение для определения нового значения диаметра паковки.

Поскольку нас интересует прирост диаметра за один двойной ход нитеводителя, то интегрирование по  $d\varphi$  будем проводить в пределах от  $\varphi_i$  до:

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i + \frac{8H}{(D_i + D_{i+1}) \operatorname{tg} \beta} \quad (\text{рис. 7}),$$

то есть:

$$\int_{D_i}^{D_{i+1}} \pi \gamma(D) H D dD = \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} \frac{T D d\varphi}{1000 \cos \beta}. \quad (19)$$

Зависимость  $\gamma = \gamma(D)$  определяется большим количеством факторов, как конструктивных, так и технологических. Физические процессы, посредством которых эти факторы влияют на плотность намотки, на сегодняшний день полностью не раскрыты. Поэтому будем считать, что зависимость  $\gamma = \gamma(D)$  получена эмпирически и представляет собой полином:

$$\gamma = AD^2 + BD + C, \quad (20)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  – эмпирические коэффициенты.

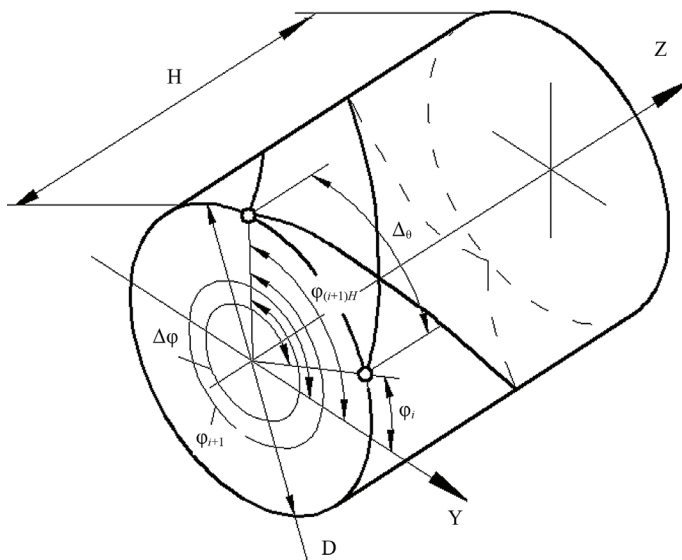


Рис. 7. Расстояния между витками на поверхности намотки

Такого вида зависимости определялись многими авторами [5, 9, 14] практически для всех видов мотальных механизмов, применяющихся в настоящее время в промышленности. Аналитическая зависимость между плотностью намотки и структурой паковки, которая могла бы конкретизировать закон изменения плотности намотки с ростом ее диаметра, на сегодняшний день не известна.

После подстановки (20) в (19) и интегрирования получаем уравнение:

$$\frac{D_{i+1}^3}{3} + \frac{BD_{i+1}^2}{2} + CD_{i+1} - \frac{AD_i^3}{3} - \frac{BD_i^2}{2} - CD_i - \frac{8T}{1000\pi(D_i + D_{i+1})\sin\beta} = 0. \quad (21)$$

При оценке структуры формируемого слоя принималось допущение о том, что угол подъема витка в течение одного двойного хода нитеводителя остается постоянным, а его изменение производится скачком к началу нового двойного хода. Такое допущение позволяет резко сократить затраты машинного времени на анализ структуры и не влечет за собой существенных погрешностей. Это объясняется тем, что время двойного хода нитеводителя весьма мало по сравнению не только со временем формирования паковки, но и с циклом работы механизма рассеивания.

В качестве точек, определяющих положение витка, удобнее принять точки разворота витка на одном из торцов паковки. Критерием для оценки структуры намотки в этом случае будет расстояние между точками разворота витков, измеренное по дуге окружности бобины  $\Delta_\theta$ . Неравенство (7) в этом случае принимает вид:

$$|\Delta_\theta| \leq \frac{kd_n}{\sin\beta}. \quad (22)$$

Для расчета примем цилиндрическую систему координат  $(r, y, \varphi)$ , связанных с бобиной (рис. 7). Длина дуги  $L$  на наружной поверхности паковки диаметром  $D$ , на которую укладывается нить за один двойной ход нитеводителя, определяется выражением:

$$L = \frac{2H}{\tan\beta}, \quad (23)$$

где  $\beta$  – текущее значение угла раскладки, определенное кинематическими параметрами механизма рассеивания жгутовой намотки.

Этой дуге соответствует центральный угол:

$$\Delta\varphi_i = 2L / D. \quad (24)$$

Таким образом, после одного двойного хода нитеводителя точка разворота витка будет иметь координату  $\varphi_{i+1} = \varphi_i + \Delta\varphi$ .

Вычтем из нее часть, кратную  $2\pi$ ,

$$\varphi_{(i+1)H} = \varphi_{i+1} - 2\pi \text{int}\left(\frac{\varphi_{i+1}}{2\pi}\right), \quad (25)$$

где  $\varphi_{(i+1)H}$  – нормированная угловая координата точки разворота.

Линейное расстояние между двумя соседними точками разворота витка вдоль дуги на наружной поверхности бобины будет равно:

$$\Delta_\theta = \frac{\varphi_{(i+1)H} - \varphi_{iH}}{D_i}. \quad (26)$$

Поскольку при формировании дефектной намотки возможно наложение друг на друга не только каждого последующего витка, но и следующих через один, через два и более витков, то  $\Delta_\theta$  должно определяться многократно при каждом двойном ходе нитеводителя из выражения:

$$\Delta_{\theta m} = \frac{\varphi_{(i+1)H} - \varphi_{(i+1-m)H}}{D_i}, \quad (27)$$

где  $\Delta_{\theta m}$  – расстояние вдоль дуги наружной поверхности паковки между вновь уложенным витком и витком, уложенным на  $m$  двойных ходов ранее. Число  $m$  имеет тот же физический смысл, что и число  $m$  в выражении (8), и представляет собой кратность жгутовой намотки.

При анализе структуры намотки по приведенному методу принимается  $1 \leq m \leq 6$ , поскольку структуры более высокой кратности имеют незначительную толщину, и поэтому не влияют на технологические показатели паковок.

Выражения (21), (27) фактически являются алгоритмом расчета расстояния между точками разворота витков, а выражение (22) – критерием оценки структуры намотки. Они положены в основу метода анализа структуры намотки в кинематическом аспекте.

Метод заключается в расчете расстояний  $\Delta_{\theta m}$  для каждого двойного хода нитеводителя при формировании намотки. При этом предварительно определяются угол подъема витка  $\beta$ , ширина раскладки  $H$  и другие величины, которые могут изменяться механизмом рассеивания в процессе формирования паковки. За определенное число двойных ходов нитеводителя подсчитывается количество случаев выполнения условия (22) и выводится в виде координаты на диаграмме, характеризующей структуру намотки (рис. 8). Абсциссой является диаметр намотывания, определяемый из уравнения (21).

Условие (22) проверяется не только для двух последовательно уложенных витков, но и для следующих, уложенных через 1, 2...6 витков.

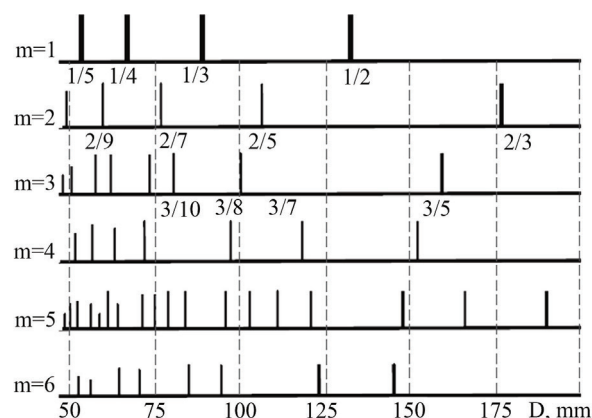


Рис. 8. Диаграмма структуры намотки, формируемой на машине ПК-100М3 при  $\beta = 10,75^\circ$

Сравнительный анализ результатов расчетов показывает, что они хорошо согласуются. При этом, несмотря на свою громоздкость, метод обладает большей информативностью. Действительно, высота столбцов на диаграммах показывает количество нитей, укладываемых последовательно одна рядом с другой, а ширина этих столбцов соответствует диапазону диаметров, на которых такой дефект формируется.

Предложенный метод позволяет количественно оценивать эффективность работы механизмов рассеивания. В качестве такой оценки можно использовать высоту столбцов на диаграмме структуры намотки. Однако работа рассеивающего механизма может по-разному сказываться на жгутовых структурах, формируемых на разных диаметрах намотки. Поэтому для уточнения технологических режимов формирования паковки необходимо применять методы многокритериальной оптимизации.

Как показано в [15, 16], анализ структуры намотки удобнее проводить путем анализа движения рабочих органов мотального механизма непосредственно во время формирования паковки. В экспериментальной установке, описанной в этой работе, на рычаге бобинодержателя, вблизи патрона, а также рядом с мотальным валом и раскладчиком, устанавливались датчики Холла, выдающие импульсы при прохождении мимо них магнитной метки. Число импульсов от датчиков подсчитывалось цифровыми электронными счетчиками, которые могли определять также и отношения частоты движения нитеводителя к частоте вращения мотального вала  $f/f_w$  и к частоте вращения бобины  $f/f_{sp}$ .

Кроме того, счетчики позволяли измерять последовательные интервалы времени между импульсами от датчиков, расположенных рядом с бобиной и нитеводителем  $t_i, t_{i+1}, t_{i+2}$ , и периоды движения нитеводителя и бобины.

Импульсы от датчиков на бобине и нитеводителя передавались на запоминающий осциллограф, что позволяло визуально контролировать на экране расстояние между соседними витками намотки. Данные от счетчиков использовались для анализа структуры намотки и эффективности рассеивания жгутовой намотки по неравенству:

$$\left| \frac{t_i}{T_{spi}} - \frac{t_j}{T_{spj}} \right| \leq \frac{nx d_f}{mL |\sin \alpha|}, \quad (28)$$

где  $T_{sp}$  – период вращения бобины;  $x$  – величина в интервале 0–3 мм, характеризующая расстояние между нитями;  $d_f$  – диаметр нити;  $L$  – длина нити, выпущенная за один двойной ход нитеводителя;  $\alpha$  – угол подъема витка;  $n, m$  – целые числа 1–5, характеризующие кратность жгутовой намотки.

Обработка результатов замеров проводилась по специальной программе на компьютере Wang-2000, данные в который поступали непосредственно от счетчиков. Результаты обработки полученных данных выводились на принтер в виде столбчатой диаграммы. Диаграмма показывает зависимость количества ходов нитеводителя, в которых расстояние между нитями меньше заданного, от относительного радиуса  $\rho$  за определенный интервал времени. При этом значение  $\rho$  рассчитывается как:

$$\rho = r/r_{1/1}, \quad (29)$$

где  $r$  – текущий радиус;  $r_{1/1}$  – радиус, на котором формируется жгутовая намотка с кратностью 1.

Последний способ контроля имеет ряд преимуществ. Из-за того, что первичные данные снимаются с рабочих органов, а не с нити, как это делается в приборах, описанных в [11, 17, 18], отсутствуют погрешности, вызванные деформацией нити и разницей в законах движения нити и нитеводителя.

В отличие от аналитических методов, изложенных в настоящей работе, при данном способе учитываются все факторы, влияющие на структуру намотки. В их число входят и те, которыми пренебрегают при расчетах: неравномерность проскальзывания, натяжение нити, усилие прижима бобины к мотальному валу и др.

Однако способ контроля параметров структуры намотки путем контроля движения рабочих органов мотального механизма имеет свои ограничения, т. к. не позволяет оценить качество паковок, поступающих на производство с других предприятий. В связи с этим он может найти лишь довольно ограниченное применение.

## 5. Обсуждение результатов исследования методов контроля структуры намотки

Для отладки мотальных механизмов, как в условиях производства, так и при испытаниях нового оборудования, наиболее приемлемыми являются инструментальные методы, основанные на анализе самой паковки. Первым шагом на пути создания таких методов является определение фактической кривой укладки витка на теле намотки.

Указанные недостатки устранены в приборе АВА-R3060 фирмы Rothschild [19]. Предлагается модернизация прибора АВА-R3060 для обработки результатов измерения на ЭВМ, что, безусловно, повышает оперативность процесса измерения. Следует отметить, что описанный прибор не лишен существенного недостатка, присущего аналогичным конструкциям. Из-за значительного расстояния от точки схода нити до глазка нитеводителя и его изгибания в процессе работы, прибор не в состоянии воспроизвести фактическую кривую укладки витка на развороте. При этом самая кривая часто нарушается вследствие того, что при формировании жгута сам жгут играет роль раскладчика, уводя нить от положения, определяемого движением нитеводителя.

Описана методика регистрации положения нити на участке разворота, которая заключается в прокатывании паковки по липкой ленте, при этом нить приклеивается к бобине на ленту в том положении, в котором она была уложена в намотку. Расстояние от точки схода нити с паковки до ленты, на которой она фиксируется, равно нулю. Следует отметить, что такая методика пригодна только для анализа нарушений положения витка на участке разворота и не может применяться для анализа работы механизма рассеивания из-за больших затрат времени и липкой ленты. Для количественной оценки дефектов структуры намотки вводится такое понятие как «интенсивность жгутовой намотки», т. е. количество нитей на единицу ширины дефектной структуры.

Эта характеристика определялась следующим образом. При обнаружении в процессе размотки дефекта, размотка прекращалась, и в тело намотки вводились две иглы так, чтобы структурный дефект размещался между ними, а прямая, проходящая через точки, в которые вставлены иглы, была бы перпендикулярна нитям на



поверхности паковки. После введения игл размотка продолжалась вручную, при этом подсчитывалось количество нитей  $k$ , расположенных между иглами.

Отношение количества нитей в дефекте к расстоянию  $l$  между иглами, можно назвать интенсивностью жгутовой намотки  $q$ , т. е.:

$$q = k / l. \quad (30)$$

Эта величина позволяет квалифицировать дефект намотки, как ленту или жгут. Действительно, жгутовой намоткой, по определению, считается та, при которой расстояние между нитями меньше толщины нити, а ленточной намоткой та, при которой это расстояние равно толщине нити. Интенсивность показывает, сколько нитей приходится на единицу ширины дефекта намотки и является обратной величиной по отношению к расстоянию между нитями.

На рис. 9 изображен график зависимости интенсивности жгутовой намотки  $q$  от диаметра наматывания для машины ПСК-225ШГ. Здесь же штриховыми линиями показаны диаметры для соответствующих отношений  $m/n$ , согласно модели формирования жгутовой намотки.

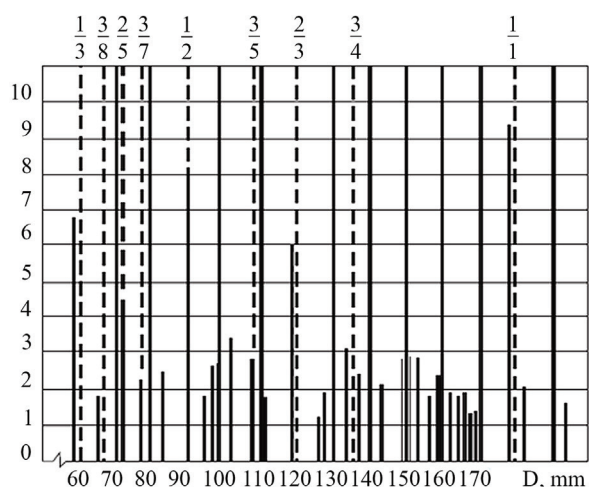


Рис. 9. Зависимость интенсивности жгутовой намотки  $q$  от диаметра наматывания для машины ПСК-225ШГ

Как видно из рис. 9, модель достаточно хорошо предсказывает наиболее мощные образования, которые наблюдаются на диаметрах 60, 90 и 180 мм. Некоторые расхождения можно отнести на наличие проскальзывания в паре «бобина–мотальный вал» и субъективность описанного экспериментального метода.

Жгутовые образования, которые формируются при кратности  $m=2$  ( $m/n=2/5$  и  $m/n=2/3$ ), имеют меньшую интенсивность, что также соответствует выводам, полученным по результатам анализа математической модели, полученной в 4. 1.

Образования, формируемые при  $m=3$ , имеют интенсивность меньшую, чем при  $m=2$  и сливаются с остальными, формируемыми при больших кратностях. Величина

интенсивности жгутовой намотки для них  $q < 3$  нитей/мм, т. е. на 1 мм ширины дефектной структуры укладывается меньше 3 нитей. Это означает, что такое образование едва ли может оказывать существенное влияние на обрывность при сматывании и на процесс раскладки нити или другие процессы, на которые вредно сказывается жгутовая намотка.

Описанная методика экспериментальной оценки жгутовой намотки позволяет проводить количественную оценку структуры намотки паковок, сформированных с помощью различных механизмов рассеивания. Однако следует отметить, что обладает довольно высокой степенью субъективности и требует от исследователя определенного навыка. Действительно, при размотке паковок картина структуры намотки на поверхности паковки постоянно изменяется, и от исследователя требуется определенная реакция, для того чтобы процесс размотки вовремя остановить. При этом исследователь может пропустить некоторые образования, посчитав их не существенными. В связи с этим ставится вопрос о разработке такой методики, которая позволяла бы просматривать поверхность намотки при ее разматывании непрерывно и регистрировать показатели, коррелирующие с количеством нитей в жгуте. Одновременно должен измеряться и регистрироваться текущий диаметр паковки.

## 6. Выводы

1. Установлено, что причиной образования дефектов структуры намотки в виде жгутовой и ленточной намоток, является кратность периодов движения нитеводителя и частоты вращения бобины, что позволило обоснованно подойти к разработке метода оценки дефектности намотки.

2. Сформулирован обобщенный критерий – количество витков, укладываемых последовательно на расстоянии, не превышающем заданное для расчетного определения дефектов структуры намотки, позволяющий оценить их влияние на качество паковки.

3. Экспериментально подтверждено вредное влияние дефектов структуры намотки на пригодность паковок к переработке на последующих переходах. Так обрывность, вызванная дефектами намотки, составляет в среднем до 22 % от общей обрывности.

4. Разработан расчетный метод анализа структуры намотки, формируемой без рассеивания жгутовых структур, позволяющий представлять результаты на основе нормированных безразмерных показателей, сравнивать структуру намотки, формируемой на разных машинах при разных условиях наматывания. Он позволяет также выбирать рациональные структуры мотальных механизмов.

5. Разработан расчетный метод анализа структуры намотки, формируемой с рассеиванием жгутовых структур, позволяющий количественно оценивать эффективность их рассеивания и проводить поиск рациональных технологических режимов методами многокритериальной оптимизации.

## Литература

1. Model for Simulating Yarn Unwinding from Packages / Praček S., Pušnik N., Simončič B., Tavčer Petra F. // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2015. Vol. 23, Issue 2 (110). P. 25–32. URL: <http://www.fibtex.lodz.pl/article1407.html>

2. Liangxue L. Control System for Textile Winding Machine Convenient for Loading of Bobbin. IPC: B65H54/547, B65H63/00, B65H67/04, CN104386539 (A). 2015.
3. Shams Nateri A., Ebrahimi F., Sadeghzade N. Evaluation of Yarn Defects by Image Processing Technique // *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*. 2014. Vol. 125, Issue 20. P. 5998–6002. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2014.06.095>
4. Rudovsky P. N. Influence of Parameters of the Winding Mechanism on Laying Coils in Tourniquet Formation // *News of Higher Educational Institutions, Technology of Textile Industry*. 1995. Issue 6. P. 108–111.
5. Real-time graphic visualization of filament band winding for fiber-reinforced cylindrical vessels / Fu J., Yun J., Kim J.-S., Jung Y. // *Journal of Composite Materials*. 2015. Vol. 50, Issue 16. P. 2165–2175. doi: <https://doi.org/10.1177/0021998315602325>
6. Li L. Control System for Textile Winding Machine Convenient for Loading of Bobbin: Pat. No. 104386539A CN. IPC: B65H54/547, B65H63/00, B65H67/04. No. 201410607590 CN. declared: 03.11.2014; published: 04.03.2015.
7. Ashhepkova N. S. Mathcad in the kinematic and dynamic analysis of the manipulator // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 5, Issue 7 (77). P. 54–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51105>
8. Jhatial R. A., Peerzada M. H., Syed U. Optical Yarn Assessment System for Twist Measurement in Rotor-Spun Yarn // *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. 2016. Vol. 34, Issue 1. P. 25–32.
9. Determining the dependences for calculating a conversion scale of profile height of the controlled packing surface / Nuriyev M. N., Seydaliyev I. M., Recebov I. S., Dadashova K. S., Musayeva T. T. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, Issue 1. P. 58–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96977>
10. Maag F. Spinnspulen mit der Stufenprazissionswicklung // *Textilindustrie*. 1985. Vol. 6. P. 416–420.
11. Nuriyev M. N., Musayeva T. T. Development of Algorithms Surface Recognition Forging Cross Winding // *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Mechanical-technological systems and complexes*. 2016. Vol. 49, Issue 1221. P. 52–55.
12. Development of a Device for Continuously Monitoring the Parameters of the Winding Structure of Textile Bobbins / Nuriyev M., Ali Veliyev F., İnsaf Hamidov H., Aqagul Sailov R., Mahamad Seydaliyev I., Zargar Jabbarova G. // *Ingeniería solidaria*. 2018. Vol. 14, Issue 24. P. 1. doi: <https://doi.org/10.16925/v14i24.2183>
13. Nuriyev M. N. Destructive Methods of Controlling the Density Distribution of the Winding Body // *Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering*. 2016. Vol. 4, Issue 55. P. 44–48.
14. Nuriyev M., Dadashova K., Radzhabov I. Development of methods for recognition of structural defects using package surface image // *ScienceRise*. 2016. Vol. 4, Issue 2 (21). P. 6–10. doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.66143>
15. Ганира З. Д., Нуриев М. Н. Формирование паковок с синусоидальным изменением скорости нитеводителя // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2. С. 176–180.
16. Analysis of the formation of filament winding in terms of force interactions between threads / Nuriyev M., Veliev F., Seydaliyev I. M., Dadashova K., Jabbarova G. Z., Allahverdiyeva I. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, Issue 1 (90). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118961>
17. Musayeva T. T., Nuriyev M. N. Efficiency of Quality Management System's Application In The Enterprises of Light Industry // *International Journal of Humanities & Social Science Studies (IJHSSS)*. 2016. Vol. II, Issue VI. P. 233–240. URL: <http://oaji.net/articles/2016/1115-1464938939.pdf>
18. Нуриев М. Н., Киселев П. Н. Разработка алгоритмов автоматизированного определения единичных показателей для оценки дефектов формы паковок крестовой намотки // *Ученые записки АзТУ. Серия: Фундаментальные науки*. 2007. № 3. С. 19–22.
19. Денисов А. Р., Киприна Л. Ю., Рудовский П. Н. Применение методов кластерного анализа для контроля качества паковок крестовой намотки // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2006. № 4с. С. 111–113.